

УДК 621.762

КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ ІНТЕРМЕТАЛІДІВ ТИТАНУ**к.т.н. М.О. Сисоєв, к.т.н., с.н.с. Г.П.Кисла, студ. І.О. Губай, студ. Ю.В. Радом'як,
д.т.н., проф. П.І. Лобода***Національний технічний університет України «КПІ», Інженерно – фізичний факультет, кафедра ВТМ та ПМ
E-mail: sisoev@mail.ua*

Розробка нових композиційних матеріалів на основі інтерметалідів титану Ti_3Al (альфа-2) та $TiAl$ (гама), що поєднують високу жароміцність, низьку густину та високу стійкість до окислення, є актуальною в сучасному матеріалознавстві авіакосмічних матеріалів. У числі переваг застосування інтерметалідних сплавів є досягнення експлуатаційних характеристик на рівні традиційних жароміцних нікелевих сплавів і навіть вище при меншому вмісті дорогих легуючих елементів і більш низької щільності. Поряд з унікальними властивостями головними недоліками Ti_3Al та $TiAl$ є: низька пластичність при кімнатній температурі та обмежена технологічність, що проявляється в залежності міцності та пластичності від температури та швидкості деформації. Для усунення цих недоліків використовують наступні способи: нові методи плавки, обробку розплаву модифікаторами, багатокомпонентне легування активними тугоплавкими елементами, подрібнення структури за рахунок гарячої обробки тиском в режимі надпластичної деформації та наступної термічної обробки, нові методи порошкової металургії або високотемпературного синтезу, що саморозповсюджується.

Багато робіт [1-3] присвячено збільшенню пластичності та в'язкості руйнування інтерметалідів титану за рахунок легування різними елементами. Визначено, що найбільш перспективними є наступні легуючі елементи: Ni, Nb, Cu, Ta, Co, Mn, V [4]. Також встановлено, що легування титан-алюмінідних сплавів ніобієм в оптимальних кількостях сприяє подрібненню структури та підвищенню її термічної стабільності в результаті чого збільшується низькотемпературна пластичність та високотемпературна повзучість.

Підвищення міцності, жорсткості, опору повзучості та в'язкості руйнування досягається шляхом створення композиційних матеріалів на основі інтерметалідних матриць армованих керамічними частинками, такими як B_4C , TiB_2 , TiC [5]. Велика увага приділяється реакційному спіканню порошкових сумішей інтерметалідів титану та карбіду бору, в результаті якого формуються керамічні армуючі фази TiB_2 , TiC , $Al_2Ti_4C_2$, Al_3BC . Відповідно до [6, 7] пористість отриманих композитів не перевищує 5%, модуль пружності та межа міцності збільшувались зі збільшенням вмісту карбіду бору у вихідних зразках від 185 до 400 ГПа та від 330 до 1090 МПа відповідно.

В даній роботі досліджено взаємодію в системах $TiAl - B_4C$ та $Ti_3Al - B_4C$ в процесі високотемпературного синтезу, що саморозповсюджується, а також вплив термічної обробки на синтезовані композиційні матеріали.

Алюмініди титану – $TiAl$ та Ti_3Al синтезували із порошків титану та алюмінію технічної чистоти повільно нагріваючи у вакуумній печі до $1000^\circ C$ та витримували протягом 2 годин. За даними рентгенофазового аналізу визначено, що отримані матеріали у своєму складі мали дві фази – $TiAl + 5\% Ti_3Al$ (при синтезі $TiAl$) та $Ti_3Al + 3\% TiAl$ (при синтезі Ti_3Al).

Для отримання композиційного матеріалу із суміші порошків 45,2% $TiAl$ та 54,8% B_4C , процентний вміст яких розрахованих за формулою [7]:

$$79B_4C + 48TiAl = 32TiB_2 + 16TiC + 9AlB_{24}C_4 + 9Al_4C_3 + 3AlB_{12},$$

та 60,7% Ti_3Al та 29,3% B_4C відповідно до формули [7]:

$$32B_4C + 16Ti_3Al = 32TiB_2 + 16TiC + 3AlB_{24}C_4 + 3Al_4C_3 + AlB_{12}$$

пресували зразки діаметром 10 мм і висотою 10 мм під тиском 200 МПа. Синтез композитів проводили в електронно-променевій установці ЕЛА-6. Після проходження реакції зразки піддавали термічній обробці в вакуумі при температурі 1400°C протягом 1; 2 та 3 хвилин. Мікроструктури отриманих матеріалів наведені на рисунках 1 - 4.

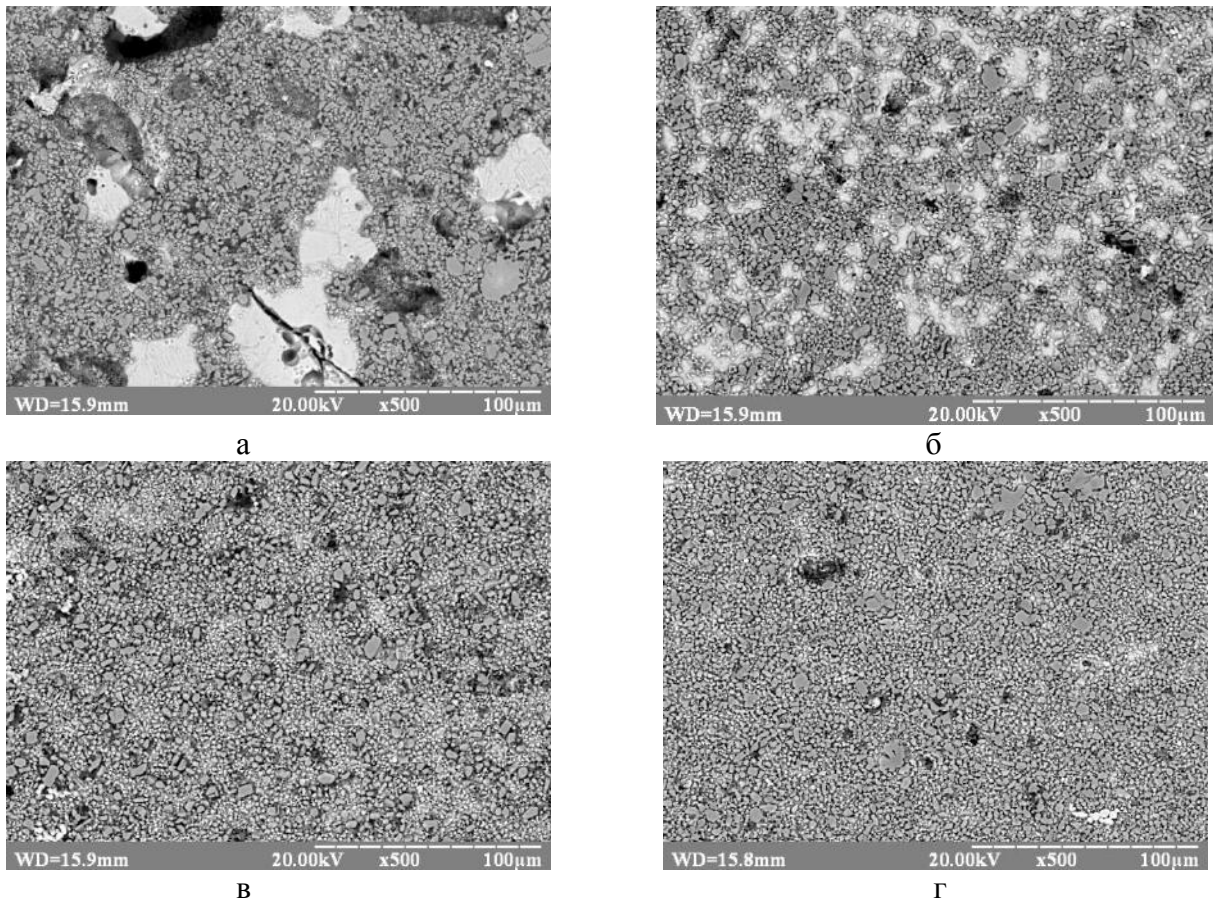


Рис.1. Мікроструктури композиційних матеріалів, отриманих методом СВС із суміші порошків 45,2% TiAl та 54,8% B₄C (а – без термообробки, б – витримка 1 хв., в – витримка 2 хв., г – витримка 3 хв.)

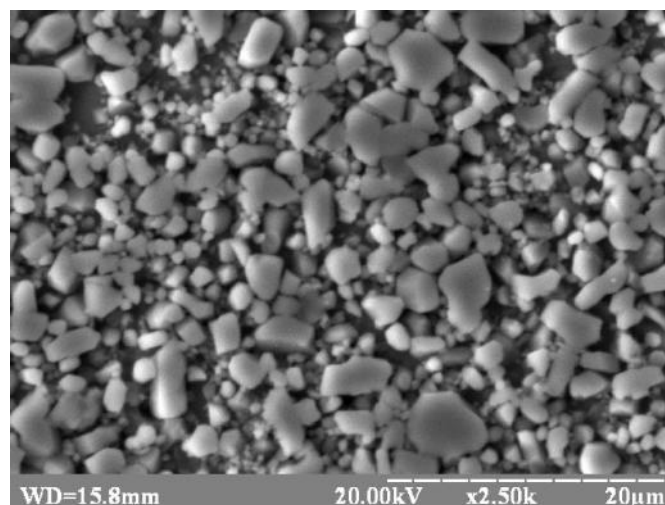


Рис.2. Мікроструктура композиційного матеріалу, отриманого методом СВС із суміші порошків 45,2% TiAl та 54,8% B₄C та після термообробки протягом трьох хвилин.

Після синтезу композитів в обох системах формується матрична структура з тугоплавкими включеннями. Як видно з рисунків 1 (а) і 2 (а) та за результатами рентгенофазового аналізу реакція в процесі СВС проходить не повністю і в композитах залишається значна частина вихідних компонентів - інтерметалідів та карбиду бору.

Зі збільшенням часу ізотермічної витримки в обох системах ($\text{TiAl} - \text{B}_4\text{C}$ та $\text{Ti}_3\text{Al} - \text{B}_4\text{C}$) спостерігається більш повне проходження реакції з утворенням більшої кількості TiB_2 , TiC , AlB_{12} і після 3-х хвилинної ізотермічної витримки в отриманому композиті вихідні компоненти не ідентифікуються. В системі $\text{TiAl} - \text{B}_4\text{C}$ відбувається зменшення розмірів зерен продуктів хімічної взаємодії. Мікротвердість сплавів монотонно збільшується від 7 до 9 ГПа зі збільшенням часу термічної обробки.

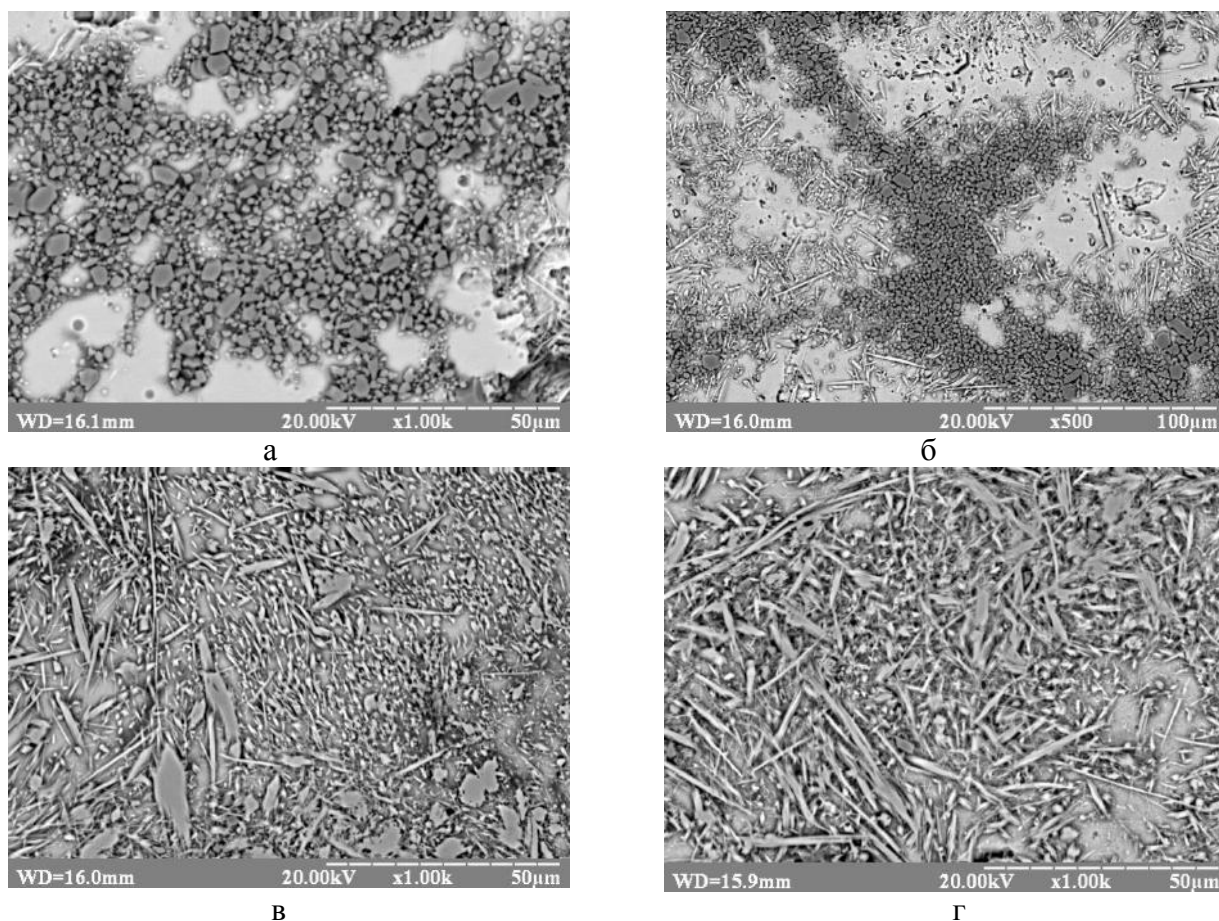


Рис. 3. Мікроструктури композиційних матеріалів, отриманих методом СВС із суміші порошків 60,7% Ti_3Al та 29,3 B_4C (а – без термообробки, б – витримка 1 хв., в – витримка 2 хв., г – витримка 3 хв.)

В системі $\text{Ti}_3\text{Al} - \text{B}_4\text{C}$ при збільшенні часу термообробки форма зерен тугоплавких продуктів реакції змінюється від глобулярної до голкоподібної і після витримки при 1400°C протягом трьох хвилин формується структура «корзинного плетіння» (рис. 4), в якій фазові складові переплітаються між собою. Мікротвердість даних сплавів збільшується від 4 до 11 ГПа.

Зі збільшенням часу ізотермічної витримки зменшується розмір карбідної складової, пористість зменшується, як кількісно, так і зменшується розмір пор.

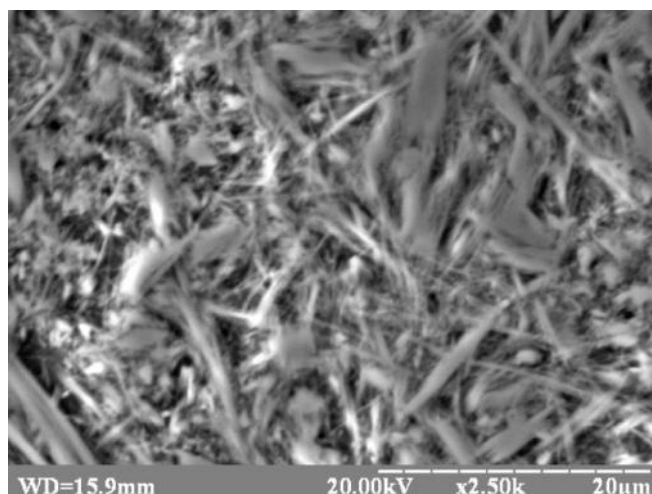


Рис. 4. Мікроструктура композиційного матеріалу, отриманого методом СВС із суміші порошків 60,7% Ti_3Al та 29,3% B_4C та після термообробки протягом трьох хвилин.

Висновки. В даній роботі були синтезовані інтерметаліди $TiAl$ та Ti_3Al . Методом СВС та з подальшою термічною обробкою при температурі $1400^{\circ}C$ протягом 1; 2 та 3 хвилин з використанням інтерметалідів $TiAl$ та Ti_3Al та карбіду бору були отримані композити $Ti - Al - B - C$.

Методом рентгенофазового аналізу встановлено, що в процесі реакції утворюються TiB_2 , TiC , AlB_{12} та залишаються вихідні компоненти, кількість яких зменшується зі збільшенням часу ізотермічної витримки.

Методом металографічного аналізу встановлено, що найбільш дрібнозерниста структура формується після термообробки протягом трьох хвилин. Керамічні зерна в композитах, отриманих за участю $TiAl$, мають округлу форму; за участю Ti_3Al – формується структура «корзинного плетіння». Мікротвердість композиційних матеріалів збільшується зі збільшенням часу термічної обробки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Горная И. Д., Баньковский О. И., Евич Я. И. и др. Влияние легирования и микролегирования на структуру и свойства литых $\alpha_2-Ti_3Al / \gamma-TiAl$ сплавов // Тез. докл. Междунар. конф. "HighMatTech" (3–7 октября 2011 г., Киев, Украина). – С. 198.
2. Подрезов Ю. М., Бондар. А. А., Вітусевич В. Т., Ремез М. В. та ін. Структура та властивості титан-алюмінідних сплавів, легованих ніобієм і танталом // Порошковая металлургия. – 2011. – № 7/8. – С. 25 – 46.
3. Горная И. Д., Порядченко Н. Е., Баньковский О. И. и др. Структура и высокотемпературные свойства сплавов на основе алюминидов титана, дополнительно легированных Sc, В и РЗМ // Тез. докл. Междунар. конф. "HighMatTech" (19–23 октября 2009 г., Киев, Украина). – С. 1301
4. А. О. Деменок, А. А. Ганеев, О. Б. Деменок, Б. А. Кулаков Выбор легирующих элементов для сплавов на основе алюминидов титана Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия» том.13 – №1 – 2013
5. V. Kevorkijan, S. D. Skapin fabrication and characterization of $TiAl/Ti_3Al$ -based intermetallic composites (imcs) reinforced with ceramic particles.
6. W. Zhang, L. Gaoc, Y. Lei, B. Yanga, J. Li, L. Xiao, Y. Yin $TiAl/B_4C$ composite fabricated by high energy ball milling and hot press sintering processes and its mechanical properties / Materials Science and Engineering A 527 (2010) 7436–7441.
7. Kevorkijan V. A. Fabrication and characterization of $TiAl/Ti_3Al$ -based intermetallic composites (IMCs) reinforced with ceramic particles / V. A. Kevorkijan, S. D. Kapin–Maribor, 2009. – С. 75–89.